

日 本 国 特 許 庁
PATENT OFFICE
JAPANESE GOVERNMENT

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日

Date of Application:

2000年 1月21日

出 願 番 号

Application Number:

特願2000-013175

出 願 人

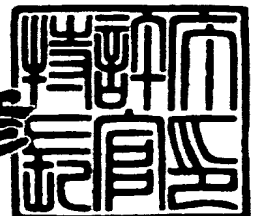
Applicant (s):

住友電気工業株式会社

2000年 6月23日

特許庁長官
Commissioner,
Patent Office

近 藤 隆 彦



出証番号 出証特2000-3047822

【書類名】 特許願

【整理番号】 099Y0384

【提出日】 平成12年 1月21日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 C03B 37/012

【発明者】

 【住所又は居所】 神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電気工業株式会
社 横浜製作所内

 【氏名】 長谷川 健美

【発明者】

 【住所又は居所】 神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電気工業株式会
社 横浜製作所内

 【氏名】 西村 正幸

【発明者】

 【住所又は居所】 神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電気工業株式会
社 横浜製作所内

 【氏名】 笹岡 英資

【特許出願人】

 【識別番号】 000002130

 【氏名又は名称】 住友電気工業株式会社

【代理人】

 【識別番号】 100088155

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 長谷川 芳樹

【選任した代理人】

 【識別番号】 100089978

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 塩田 辰也

【選任した代理人】

【識別番号】 100092657

【弁理士】

【氏名又は名称】 寺崎 史朗

【選任した代理人】

【識別番号】 100110582

【弁理士】

【氏名又は名称】 柴田 昌聰

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 014708

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9908938

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光ファイバ

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 軸方向に対して垂直な断面に、コア領域と、このコア領域を包囲するクラッド領域と、を有し、主媒質中に所定の断面積を有する複数の副媒質を含む微細構造が少なくとも前記クラッド領域に設けられ、前記各領域が軸方向に伸びる光ファイバにおいて、

前記クラッド領域は、

前記コア領域を包囲する第 1 クラッド領域と、

前記第 1 クラッド領域を包囲する第 2 クラッド領域と、

前記第 2 クラッド領域を包囲する第 3 クラッド領域とを有し、

前記コア領域の平均屈折率 N_{core} と、前記第 1 クラッド領域の平均屈折率 N_{clad1} と、前記第 2 クラッド領域の平均屈折率 N_{clad2} と、前記第 3 クラッド領域の平均屈折率 N_{clad3} と、の間に、

$$N_{\text{core}} > N_{\text{clad2}} > N_{\text{clad1}} > N_{\text{clad3}}$$

なる関係が成立することを特徴とする光ファイバ。

【請求項 2】 前記微細構造を含む領域の平均屈折率は、単位断面積当たりの前記副媒質の断面積を増加又は減少させることにより決められたことを特徴とする請求項 1 記載の光ファイバ。

【請求項 3】 前記コア領域、前記第 1 クラッド領域、前記第 2 クラッド領域、及び前記第 3 クラッド領域の各平均屈折率は、光波長 1 5 5 0 n m における実効コア断面積が $12 \mu\text{m}^2$ 以上となるように選択されたことを特徴とする請求項 1 又は請求項 2 記載の光ファイバ。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

本発明は、光伝送路として好適な光ファイバに関する。

【0 0 0 2】

【従来の技術】

図10は、従来から知られている微細構造を含む光ファイバの断面図である。この光ファイバは、図10に示すように、シリカガラス91の材料中に多数のボイド92（空孔）が設けられた断面構造を有する。ボイド92が無い断面中心部分がコア領域93であり、このコア領域93を包囲し、ボイド92を多数含む部分がクラッド領域94である。

【0003】

このような微細構造を含む光ファイバの光閉じ込めの原理は、定性的には実効屈折率という概念を用いて説明される（例えば、T. A. Birk sら、Optics Letters Vol. 22 p. 961（1997））。微細構造を有するため、厳格に考えるとコア領域93及びクラッド領域94内で屈折率は複雑な分布を示すはずであるが、各領域を均一な媒体で置換して光導波特性を近似させることができると仮定し、この均一な媒体の屈折率を実効屈折率と呼ぶ。実効屈折率 n_{eff} は、次の不等式を満たす。

【0004】

【数1】

$$\left(\frac{f_1}{n_1^2} + \frac{f_2}{n_2^2} \right)^{-1} \leq n_{eff}^2 \leq f_1 n_1^2 + f_2 n_2^2 \quad \cdots \textcircled{1}$$

ここで、 n は屈折率、 f は容積分率を表す。また、添字1はシリカガラス、添字2は空気を表す。容積分率については、 $f_1 + f_2 = 1$ が成り立つ。通常、 $n_1 > n_2$ であるから、式①の最左辺と最右辺は、 f_2 の増大に伴って小さくなる。従って、ボイド92を多数含むクラッド領域94の実効屈折率は、コア領域93の実効屈折率よりも小さくなり、通常の光ファイバと同様に光閉じ込めが実現される。

【0005】

このような実効屈折率のモデルは、微細構造スケールに比べて光の波長が長い場合については妥当であると考えられる。しかし、光の波長が短くなっていくことに伴い、屈折率の高い場所に光が局在するようになるため、実効屈折率は上昇

するが、同時に、屈折率分布を持つ構造を均一な媒質で置換できるという仮定も、妥当性を失っていくと考えられる。

【0006】

一方、このような光ファイバよりも大きい負分散を持つ光ファイバが、例えば、特開平10-95628号公報に開示されている。この光ファイバは、上記のような微細構造を有するが、クラッド領域が内部クラッド領域と外部クラッド領域とによって構成され、内部クラッド領域の実効屈折率が外部クラッド領域の実効屈折率よりも小さいという特徴を有する。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、上記公報に開示されている光ファイバは、図10に示す光ファイバのように均一なクラッド構造を有する光ファイバに比べて負分散が増大する一方、実効コア断面積の低下、及び曲げ損失の増大、及び実効コア断面積の構造パラメータ変動に対する感度の増大、といった問題を有する。

【0008】

本発明は、このような事情に鑑みてなされたものであり、均一なクラッド構造を有する光ファイバよりも実効コア断面積を大きくさせ、曲げ損失を小さくさせると共に、実効コア断面積の構造パラメータへの感度を低く抑えることができる光ファイバを提供することを目的とする。

【0009】

【課題を解決するための手段】

請求項1記載の光ファイバの発明は、軸方向に対して垂直な断面に、コア領域と、このコア領域を包囲するクラッド領域と、を有し、主媒質中に所定の断面積を有する複数の副媒質を含む微細構造が少なくともクラッド領域に設けられ、各領域が軸方向に伸びる光ファイバにおいて、クラッド領域は、コア領域を包囲する第1クラッド領域と、第1クラッド領域を包囲する第2クラッド領域と、第2クラッド領域を包囲する第3クラッド領域と、を有し、コア領域の平均屈折率 N_{core} と、第1クラッド領域の平均屈折率 N_{clad1} と、第2クラッド領域の平均屈折率 N_{clad2} と、第3クラッド領域の平均屈折率 N_{clad3} と、の間に、 $N_{\text{core}} > N_{\text{clad3}}$

$n_{\text{clad2}} > n_{\text{clad1}} > n_{\text{clad3}}$ なる関係が成立する構成を採る。

【0010】

この構成により、光閉じ込めの度合いが向上するため、曲げ損失を低下させることが可能となる。また、同じ曲げ損失で従来と比較すると実効コア断面積を大きくさせることが可能となる。また、実効コア断面積の構造パラメータに対する感度を小さくさせることができる。

【0011】

請求項2記載の発明は、請求項1記載の光ファイバにおいて、微細構造を含む領域の平均屈折率は、単位断面積当たりの副媒質の断面積を増加又は減少させることにより決められた構成を採る。

【0012】

このように、単位断面積当たりの副媒質の断面積を増加又は減少させることによって、微細構造を含む領域の平均屈折率を決めることができるため、コア領域と、第1クラッド領域と、第2クラッド領域と、第3クラッド領域との平均屈折率の大小関係を容易に決定することができる。

【0013】

請求項3記載の発明は、請求項1又は請求項2記載の光ファイバにおいて、コア領域、第1クラッド領域、第2クラッド領域、及び第3クラッド領域の各平均屈折率は、光波長1550nmにおける実効コア断面積が $12\mu\text{m}^2$ 以上となるように選択された構成を採る。

【0014】

この構成により、大きな実効コア断面積を有するので、非線型光学現象の発生を抑制することができ、伝送品質の向上を図ることができる。

【0015】

【発明の実施の形態】

以下、添付図面に基づき、本発明の実施の形態について説明する。なお、各図において同一要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。また、図面の寸法比率は、説明のものと必ずしも一致していない。

【0016】

図1は、本発明の一実施の形態に係る光ファイバの断面における領域区分を示す図であり、図2は、上記実施の形態に係る光ファイバの微細構造を説明する断面図である。図1に示すように、本実施の形態では、断面が、コア領域1と、コア領域1を包囲する第1クラッド領域2と、第1クラッド領域2を包囲する第2クラッド領域3と、第2クラッド領域3を包囲する第3クラッド領域4とから構成される。また、これらの各領域は、図2に示すように、主媒質としてのシリカガラス5と副媒質としての多数のボイド6とから構成されている。

【0017】

本実施の形態では、各領域の屈折率を区別するため、平均屈折率という概念を用いる。実効屈折率は、近似を用いて定義されるために、定義があいまいであり、構造の記述には適さないため、これを用いない。図3は、本実施の形態に係る光ファイバの平均屈折率の決め方を説明する図である。ある領域で着目した一つのボイド6について、他の全てのボイドとの間で垂直二等分線を引く。これらの垂直二等分線によって、ボイド6を含み、内部に垂直二等分線を含まない多角形を定義する。これをセル7と呼ぶ。このセル7において、平均屈折率 n_{avg} を次式によって算出する。

【0018】

【数2】

$$n_{avg} = \left[\frac{\{n^2 * (A_{cell} - A_{hole}) + A_{hole}\}}{A_{cell}} \right]^{\frac{1}{2}} \dots \textcircled{2}$$

ただし、 n はファイバ材料の屈折率、 A_{cell} はセル面積、 A_{hole} はボイドの面積を表す。ボイド6の中心 P をセル7の位置とし、原点 O （ファイバ軸）から P までの距離を r として、集合 $\{(n_{avg}, r)\}$ を散布図として表す。

【0019】

本実施の形態では、上記の方法で決定された各領域の平均屈折率を、以下のような大小関係を付けて決めている。すなわち、コア領域の平均屈折率 N_{core} と、第1クラッド領域の平均屈折率 N_{clad1} と、第2クラッド領域の平均屈折率 N_{cla}

d_2 と、第3クラッド領域の平均屈折率 N_{clad3} と、の間に、

【0020】

【数3】

$$N_{\text{core}} > N_{\text{clad2}} > N_{\text{clad1}} > N_{\text{clad3}} \cdots \textcircled{3}$$

という関係が付けられている。

【0021】

図4は、本実施の形態（表1の構造#3）における各領域の平均屈折率の散布図である。図4から分かるように、数式③における平均屈折率の大小関係が付けられている。

【0022】

各領域の平均屈折率は、ボイド6の大きさを調整して決定される。すなわち、単位断面積当たりのボイド6の断面積を増加又は減少することによって、主媒質であるシリカガラス5と副媒質であるボイド6との割合が増減するため、その領域の平均屈折率を決めることができる。本実施の形態では、下記の表のように各ボイドの大きさを定めている。表には、比較のために、従来の微細構造を含む光ファイバと併せて記載する。ここで、図3中、ピッチ $L = 2.8 \mu\text{m}$ 、層数 $m = 7$ 、シリカガラスの屈折率 $n = 1.444$ である。また、 d_0 はコア領域におけるボイド6の直径であり、 d_1 は第1クラッド領域におけるボイド6の直径であり、 d_2 は第2クラッド領域におけるボイド6の直径であり、 d_3 は、第3クラッド領域でのボイド6の直径である。また、#1は従来の光ファイバのデータを示し、#2及び#3は、本発明に係る光ファイバのデータを示す。

【0023】

【表 1】

構造	d_0/L	d_1/L	d_2/L	d_3/L	備考
# 1	0	0. 4	0. 4	0. 4	従来の光ファイバ
# 2	0	0. 4	0. 3 7	0. 4	本発明
# 3	0	0. 4	0. 3 4	0. 4	本発明

表 1 のデータに基づいて本発明に係る光ファイバの断面構造を決定すると、図 5 に示すようになる。図 5 は、本実施の形態に係る光ファイバの断面構造を示す図である。六方格子上にボイド 6 が並び、コア領域 1 にはボイド 6 が無い。表 1 中、構造 # 2 の場合は、第 1 クラッド領域 2 には、 $d_1/L = 0. 4$ のボイド 6 a が、第 2 クラッド領域 3 には、 $d_2/L = 0. 3 7$ のボイド 6 b が、第 3 クラッド領域 4 には、 $d_3/L = 0. 4$ のボイド 6 c が設けられている。また、表 1 中、構造 # 3 の場合は、第 1 クラッド領域 2 には、 $d_1/L = 0. 4$ のボイド 6 a が、第 2 クラッド領域 3 には、 $d_2/L = 0. 3 4$ のボイド 6 b が、第 3 クラッド領域 4 には、 $d_3/L = 0. 4$ のボイド 6 c が設けられている。

【0 0 2 4】

このように、単位断面積当たりの副媒質の断面積を増加又は減少させることによって、微細構造を含む領域の平均屈折率を決めることができるため、コア領域と、第 1 クラッド領域と、第 2 クラッド領域と、第 3 クラッド領域との平均屈折率の大小関係を容易に決定することができる。

【0 0 2 5】

次に、本実施の形態の実効コア断面積 A_{eff} に対する、伝搬定数 β の特性の計算結果を図 6 に示す。縦軸は、伝搬定数 β を波数 k で割った値である。一般に、実効コア断面積 A_{eff} が増大するに伴って、 β は低下する。伝搬定数 β の低下に伴って、コア領域への光閉じ込めが弱くなり、曲げ損失が増大する。図 6 では、構造 # 1 よりも構造 # 2 が、構造 # 2 よりも構造 # 3 がコア領域への光閉じ込めの度合いを高めており、曲げ損失が低下していることが示されている。従って、同じ実効コア断面積 A_{eff} で比較した場合、構造 # 1 よりも構造 # 2 が、構造 # 2 よりも構造 # 3 が曲げ損失を低下させ、同じ曲げ損失で比較すれば、構造 # 1

よりも構造#2が、構造#2よりも構造#3が実効コア断面積を高めている。

【0026】

図7は、本実施の形態の実効コア断面積 A_{eff} に対する、伝搬定数 β の特性の計算結果を示す図であり、ここでは、波長 λ の二乗で規格化した実効コア断面積 A_{eff} に対してプロットしたものを示す。縦軸は β を波数 k で割った値である。一般に、 β/k が大きいほど、曲げ損失が小さくなる。 $\beta/k > 1.405$ の時に曲げ損失が十分小さくなるとすると、図7より、構造#3において、 $A_{\text{eff}}/\lambda_2 = 5$ が実現可能であり、波長 $\lambda = 1550 \text{ nm}$ において実効コア断面積 $A_{\text{eff}} = 12 \mu\text{m}^2$ を実現させることができる。

【0027】

図8は、本実施の形態に係る光ファイバの実効コア断面積の計算結果を示す図であり、ここでは、構造#1、構造#2、構造#3のすべてにおいてピッチを $1.53 \mu\text{m}$ とした場合の計算結果を示す。図8において、波長 $\lambda = 1550 \text{ nm}$ における実効コア断面積 A_{eff} に着目すると、実効コア断面積 A_{eff} は、構造#1よりも構造#2が、構造#2よりも構造#3が大きくなる。

【0028】

このように、本実施の形態では、大きな実効コア断面積を有するので、非線型光学現象の発生を抑制させることができ、伝送品質の向上を図ることができる。

【0029】

図9は、本実施の形態に係る光ファイバの実効コア断面積の計算結果を示す図であり、ここでは、波長 $\lambda = 1550 \text{ nm}$ における実効コア断面積 A_{eff} が $12 \mu\text{m}^2$ なるようにピッチを選択した場合の計算結果を示す。図9において、 $\lambda = 1550 \text{ nm}$ における実効コア断面積 A_{eff} の変化に着目すると、波長変化に対する実効コア断面積 A_{eff} の変化の大きさは、構造#1よりも構造#2が、構造#2よりも構造#3が小さくなる。波長変化に対する実効コア断面積 A_{eff} の変化の大きさが小さいということは、コア領域への光閉じ込めの度合いが高く、曲げ損失が低いということを示すと共に、ピッチなどの構造パラメータ変動に対する実効コア断面積 A_{eff} の特性の感度が小さいことを意味する。一般に、 A_{eff} を拡大すると曲げ損失の増大を伴うので、同じ A_{eff} で比べた曲げ損失が低いとい

うことは、同じ曲げ損失で比べた時に、より大きな A_{eff} を実現できることを意味する。図9において、ピッチは、構造#1が $1.21\mu\text{m}$ 、構造#2が $1.33\mu\text{m}$ 、構造#3が $1.53\mu\text{m}$ となっている。

【0030】

このように、本実施の形態では、大きな実効コア断面積を有するので、非線型光学現象の発生を抑制することができ、伝送品質の向上を図ることができる。

【0031】

以上のように、本発明の実施の形態に係る光ファイバによれば、従来の光ファイバと比較して大きな実効コア断面積を確保し、曲げ損失を小さくすることができる。また、実効コア断面積の構造パラメータに対する感度を下げることが可能となる。

【0032】

【発明の効果】

以上の説明から明らかなように、本発明は、主媒質中に所定の断面積を有する複数の副媒質を含む微細構造が少なくともクラッド領域に設けられ、各領域が軸方向に伸びる光ファイバにおいて、クラッド領域は、コア領域を包囲する第1クラッド領域と、第1クラッド領域を包囲する第2クラッド領域と、第2クラッド領域を包囲する第3クラッド領域と、を有し、コア領域の平均屈折率 N_{core} と、第1クラッド領域の平均屈折率 N_{clad1} と、第2クラッド領域の平均屈折率 N_{clad2} と、第3クラッド領域の平均屈折率 N_{clad3} と、の間に、 $N_{\text{core}} > N_{\text{clad2}} > N_{\text{clad1}} > N_{\text{clad3}}$ なる関係が成立する構成を採る。その結果、光閉じ込めの度合いが向上するため、曲げ損失を低下させることが可能となる。また、同じ曲げ損失で従来と比較すると実効コア断面積を大きくすることが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】

本発明の一実施の形態に係る光ファイバの断面における領域区分を示す図である。

【図2】

上記実施の形態に係る光ファイバの微細構造を説明する断面図である。

【図 3】

上記実施の形態に係る光ファイバの平均屈折率の決め方を説明する図である。

【図 4】

上記実施の形態に係る光ファイバの平均屈折率を示す図である。

【図 5】

上記実施の形態に係る光ファイバの断面構造を示す図である。

【図 6】

上記実施の形態の実効コア断面積 A_{eff} に対する、伝搬定数 β の特性の計算結果を示す図である。

【図 7】

上記実施の形態の実効コア断面積 A_{eff} に対する、伝搬定数 β の特性の計算結果を示す図である。

【図 8】

上記実施の形態に係る光ファイバの実効コア断面積の計算結果を示す図である。

【図 9】

上記実施の形態に係る光ファイバの構造分散と実効コア断面積の計算結果を示す図である。

【図 10】

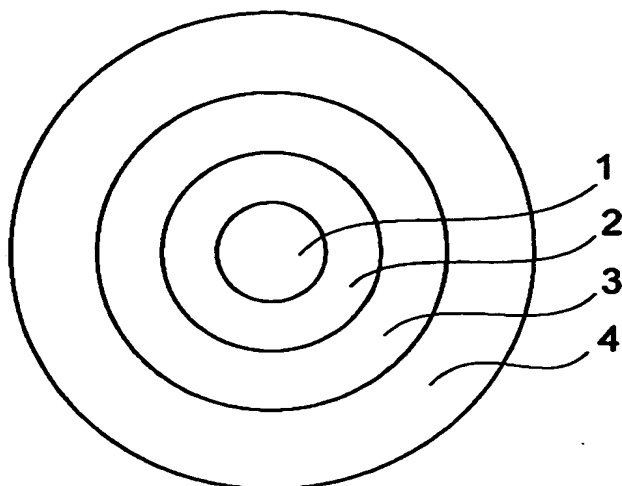
従来から知られている微細構造を含む光ファイバの断面図である。

【符号の説明】

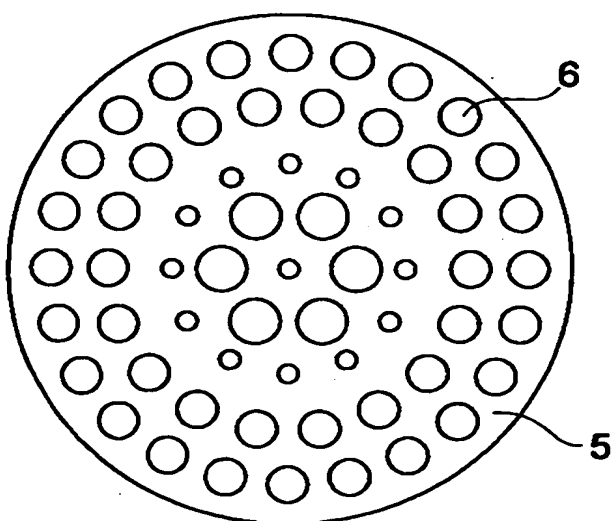
1…コア領域、2…第1クラッド領域、3…第2クラッド領域、4…第3クラッド領域、5…シリカガラス、6…ボイド、6a…ボイド、6b…ボイド、6c…ボイド、7…セル。

【書類名】 図面

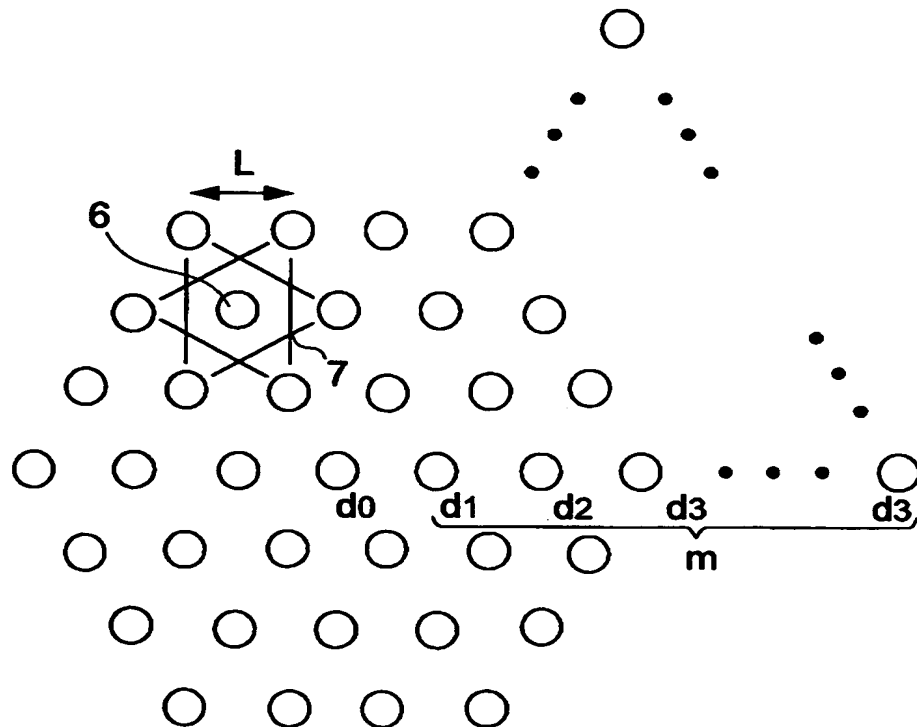
【図 1】



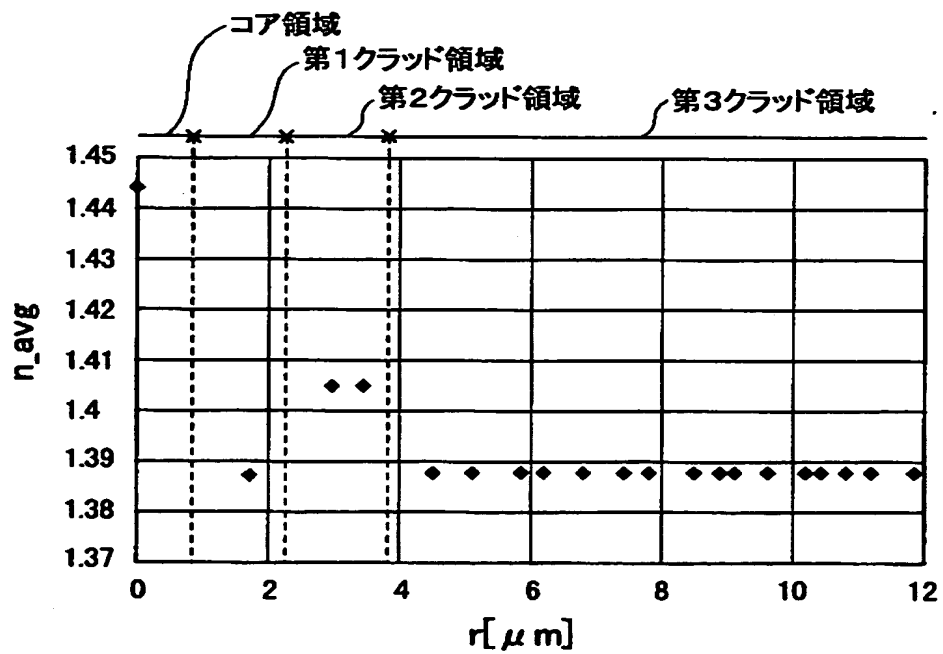
【図 2】



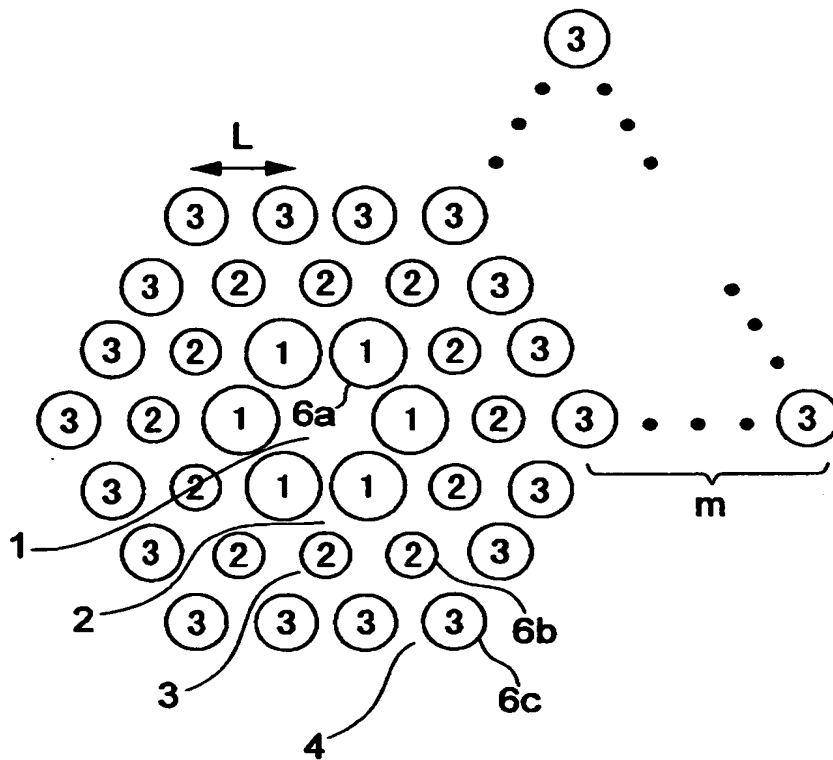
【図3】



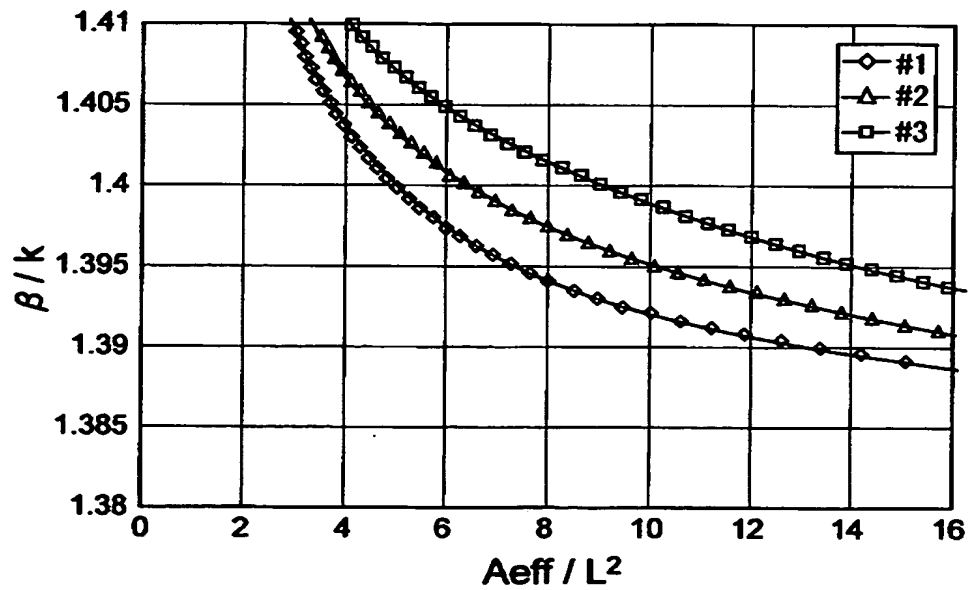
【図4】



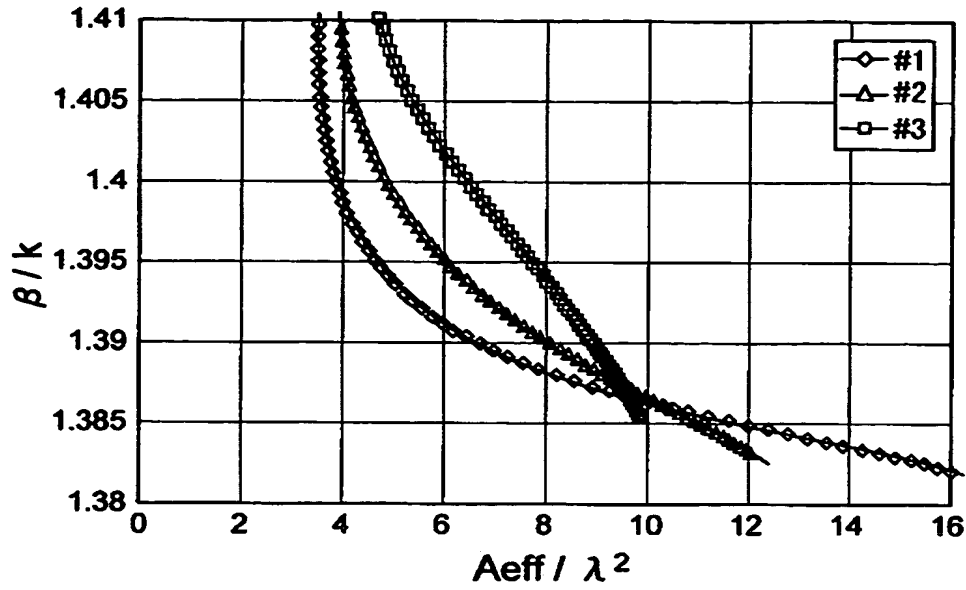
【図 5】



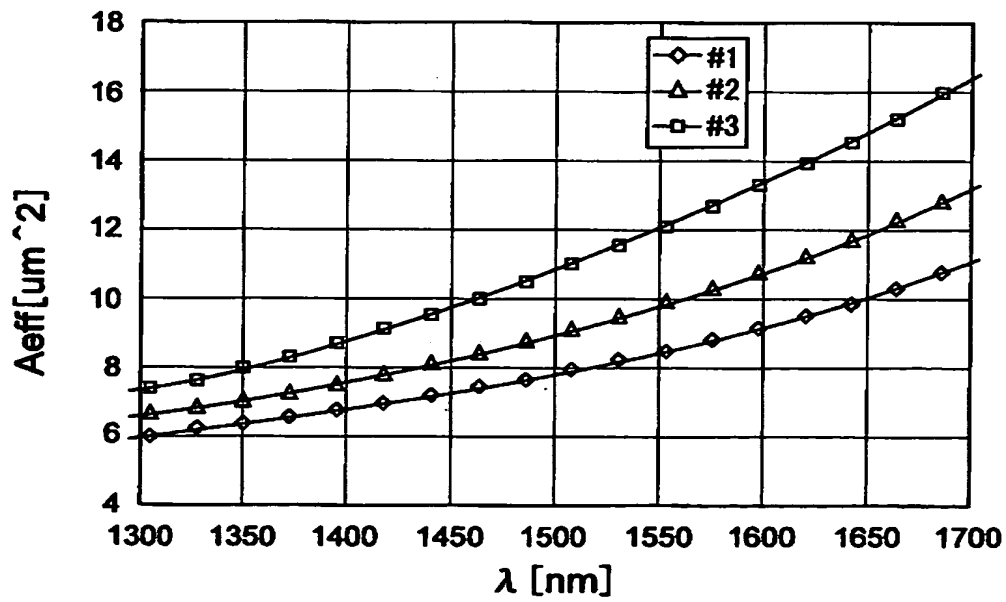
【図 6】



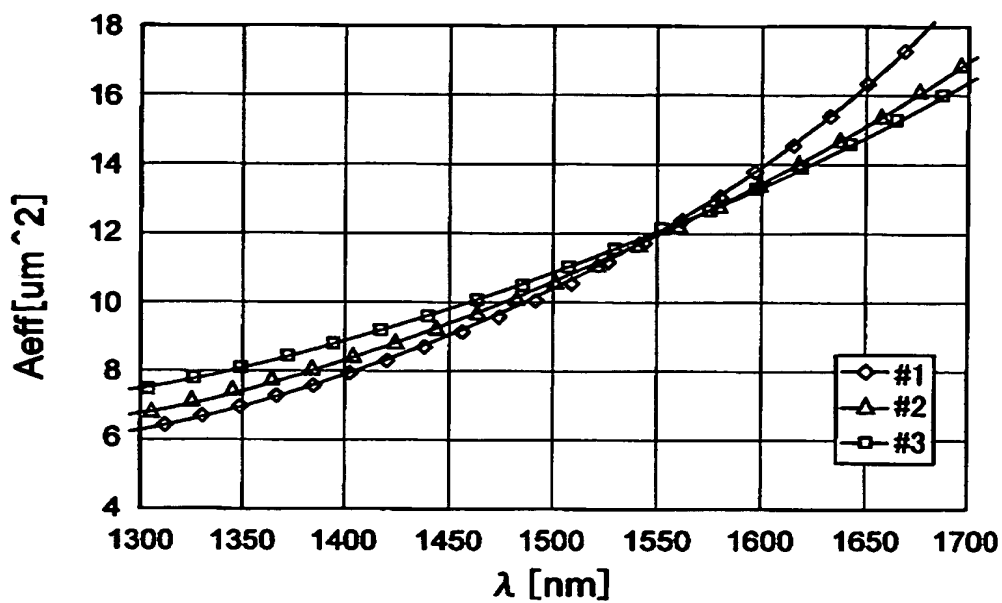
【図 7】



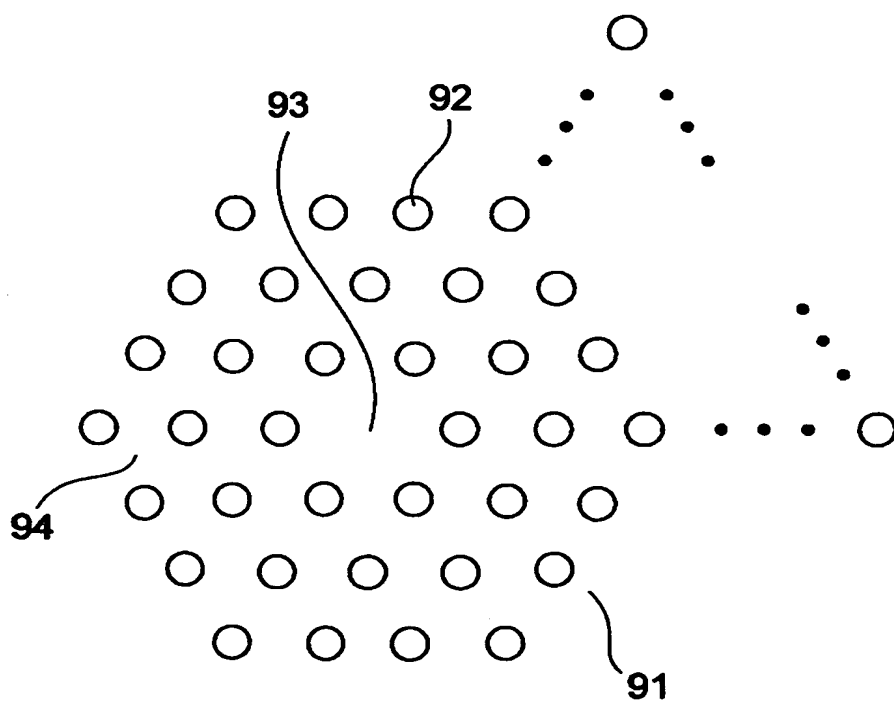
【図 8】



【図 9】



【図 10】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 実効コア断面積を大きくさせ、曲げ損失を低く抑え、実効コア断面積の構造パラメータへの感度を低く抑えること。

【解決手段】 主媒質中に所定の断面積を有する複数の副媒質を含む微細構造が少なくともクラッド領域に設けられ、各領域が軸方向に伸びる光ファイバにおいて、クラッド領域は、コア領域を包囲する第1クラッド領域と、第1クラッド領域を包囲する第2クラッド領域と、第2クラッド領域を包囲する第3クラッド領域と、を有し、コア領域の平均屈折率 N_{core} と、第1クラッド領域の平均屈折率 N_{clad1} と、第2クラッド領域の平均屈折率 N_{clad2} と、第3クラッド領域の平均屈折率 N_{clad3} と、の間に、 $N_{\text{core}} > N_{\text{clad2}} > N_{\text{clad1}} > N_{\text{clad3}}$ なる関係が成立する構成を採る。

【選択図】 図5

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000002130]

1. 変更年月日 1990年 8月29日

[変更理由] 新規登録

住 所 大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号

氏 名 住友電気工業株式会社